

# ESTUDIO DE LOS CIRCUITOS CRLH Y SUS APLICACIONES EN SISTEMAS RADIANTES PLANARES

Naima Amar Touhami\*, Lorena Cabria de Juan\*\*, José Ángel García García\*\*, Antonio Tazón Puente\*\*, Mohamed Boussouis\*

\*Laboratoire d'Electronique\_Equipe Microelectronique et Instrumentation – Faculté des Sciences  
Universidad Abdel Malek Essaadi-Tetuán - Marruecos

e-mail: [nai\\_amar@yahoo.fr](mailto:nai_amar@yahoo.fr)

\*\*Departamento de Ingeniería de Comunicaciones  
Universidad de Cantabria- España

e-mail : [lorena@dicom.unican.es](mailto:lorena@dicom.unican.es)

**Abstract-** In this paper, an antenna patch based on the concept of composite right/left-handed (CRLH) materials is presented. This radiant system is capable of working in two bands. Varying the circuital components it is possible to control the frequency bands, this means these radiant structures show electronics control capabilities. Two different circuits have been developed under two points of view: One introduces a LHM (Left Handed Material) at the input port of the antenna affecting to the input matching and the other one controls the patch resonance. The equivalent circuits of these new structures have been obtained and proved with circuital and electromagnetics simulators. The experimental results and simulations show a good agreement.

## I. INTRODUCCIÓN

Los metamateriales son estructuras artificiales que tienen un gran protagonismo en la comunidad científica internacional debido a sus propiedades físicas únicas [1] y a las numerosas aplicaciones que han surgido de las mismas [2-4]. Estas estructuras se llaman LHM (Left Handed Material) y están caracterizadas por una permitividad eléctrica negativa y una permeabilidad magnética también negativa. Un modo general de representar las estructuras LHM son los materiales CRLH (Component Right Left Handed materials), los cuales incluyen el efecto RHM (Right Handed Materials)[2].

Debido a sus más que interesantes propiedades, son muchas las aplicaciones que los diferentes autores han ido desarrollando. Por ejemplo, [2][4][5] desarrollan circuitos híbridos con dos bandas de funcionamiento y antenas LW (Leaky-Wave) con capacidad de variación del apuntamiento en función de la frecuencia ó sistemas reflecto-directivos. [6] y [7] estudian circuitos para estructuras planas excitadas por ranura y [8] hace un estudio de los equivalentes circuitales CRLH para líneas de transmisión aplicados a acopladores “branch Line”.

En este trabajo se presenta el estudio de una antena parche excitada por ranura y su equivalente circuital,

simulaciones electromagnéticas mediante el simulador Ensemble, simulaciones circuitales utilizando el modelo equivalente de la antena en el simulador Mw Office son comparadas con las medidas experimentales de dicha antena.

Una vez caracterizada la antena, añadiendo a la puerta de entrada un circuito LHM, se ha obtenido un radiador capaz de funcionar en dos bandas diferentes que pueden ser sintonizables, en este caso su comportamiento es CRLH como lo demuestra el circuito equivalente desarrollado.

Posteriormente, utilizando el mismo elemento radiante, se ha desarrollado un sistema CRLH mediante un concepto diferente: el circuito LHM se introduce en el mismo plano del parche produciendo el efecto de variación de la resonancia del parche. En este caso se demostrará que se pueden variar las dos bandas de funcionamiento, tanto la distancia entre ellas como las frecuencias a las que resuenan. Esto permite un gran número de posibilidades de aplicación. La banda de frecuencias utilizada en los dos casos es la de GSM a 960 MHz de frecuencia central.

Simulaciones en Ensemble y MW Office serán comparadas con resultados experimentales donde se demuestra el gran potencial de este tipo de sistemas.

## II. CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA ANTENA PARCHE EXCITADA POR RANURA

En la Fig. 1 podemos observar la representación geométrica de una antena parche excitada por ranura que resuena en la banda de 965 MHz. El sustrato utilizado es Arlon 25N de constante dieléctrica 3.38 y altura 0.76 mm. La separación entre el parche y el plano de masa es de 21 mm de aire. Como se puede apreciar, en el plano inferior están situadas tanto la ranura excitadora (plano de masa) como la línea de transmisión de entrada.

En la Fig. 2 se puede ver el circuito equivalente de la antena [6].  $L_{slot}$  es la ranura excitadora, el parche está representado mediante un circuito resonante paralelo incluyendo la resistencia de pérdidas de radiación y a continuación se representa el stub microstrip terminado en circuito abierto.

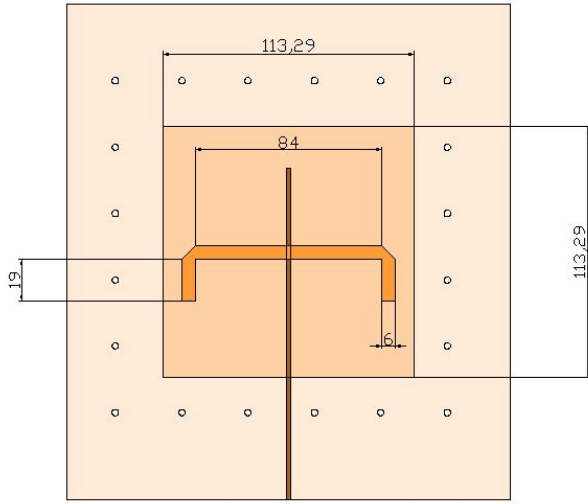


Fig. 1. Vista superior de la geometría del parche.

Una vez obtenidos los parámetros de scattering de la simulación electromagnética, mediante optimización, se han calculado los valores de los diferentes componentes del circuito equivalente.

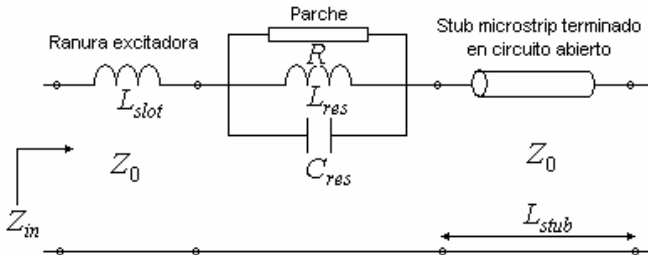


Fig. 2. Circuito equivalente de l'antena parche excitada por ranura

$$L_{Slot} = 8.6nH, L_{res} = 1.64nH, \\ C_{res} = 17.9pF, R = 76, L_{Stub} = 38$$

En la Fig. 3 se representan los resultados de simulación de Ensemble, de MW Office y de la caracterización experimental de la antena. Podemos observar una gran coincidencia entre las tres gráficas.

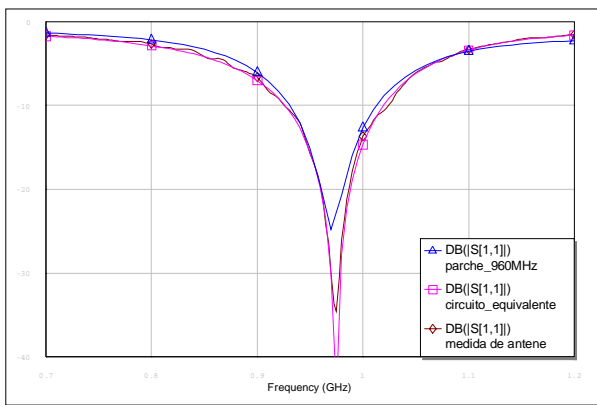


Fig. 3. Simulación y medida de la antena parche acoplada.

### III. DISEÑO DE LOS SISTEMAS RADIANTES CLRH

En este apartado se van a desarrollar los circuitos equivalentes cuyo comportamiento sea CLRH, con el objetivo de obtener una antena capaz de funcionar en dos bandas de frecuencia, además de obtener un cierto control de

las mismas. Para ello vamos a partir de los parámetros de scattering obtenidos experimentalmente para obtener, mediante optimización, los valores de los componentes de los circuitos equivalentes desarrollados de los dos sistemas de doble banda. Posteriormente, estos resultados serán validados con el simulador electromagnético y medidos para comprobar su buen funcionamiento.

#### A. Radiador CRLH con circuito LHM a la entrada

En este caso vamos a trabajar con la matriz de parámetros de scattering de las medidas mostradas en la Fig. 3 al que le hemos añadido una célula LHM en la puerta de entrada (Fig. 4). La línea de transmisión simula la distancia entre la entrada del parche y el circuito LC.

Se puede comprobar que aparecen dos bandas de funcionamiento que además pueden controlarse mediante la variación de la bobina o de la capacidad. La variación de la capacidad nos permiten un desplazamiento de las dos bandas manteniendo la separación frecuencial entre ellas, mientras que la variación de la autoinducción mantiene fija la banda superior y nos permite mover la banda inferior. Esto quiere decir se podría implementar un control electrónico, por ejemplo con diodos varactores, lo cual es muy interesante para aquellas aplicaciones en las que se necesite una sintonía automática. En la figura 5 se pueden ver los resultados del simulador MW Office cuyas gráficas ponen de manifiesto los desplazamientos de las bandas para distintos valores de la capacidad y de la bobina.

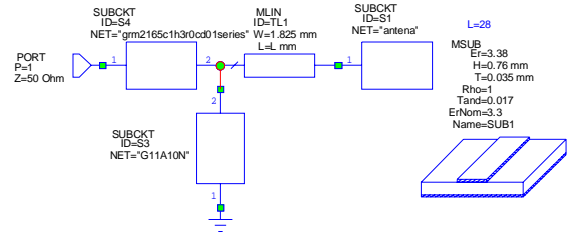


Fig. 4. Circuito equivalente del radiador con LHM a la entrada.

Los resultados obtenidos han sido comprobados mediante el simulador electromagnético Ensemble. Para ello se ha utilizado la misma antena parche cuyos resultados vimos en la Fig. 3 al que le hemos añadido la caja de parámetros de scattering de los elementos LHM.

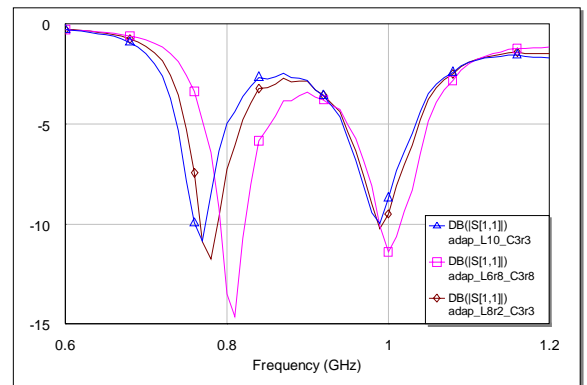


Fig. 5. Control de banda mediante las variaciones de C ó L.

En la Fig. 6 se comparan los resultados obtenidos por los dos simuladores. Se puede apreciar la buena concordancia

entre ellos si se tiene en cuenta que para poder introducir la red de parámetros en el simulador electromagnético ha sido necesario introducir un “gap” en la línea de transmisión que no se había tenido en cuenta en el simulador circuital.

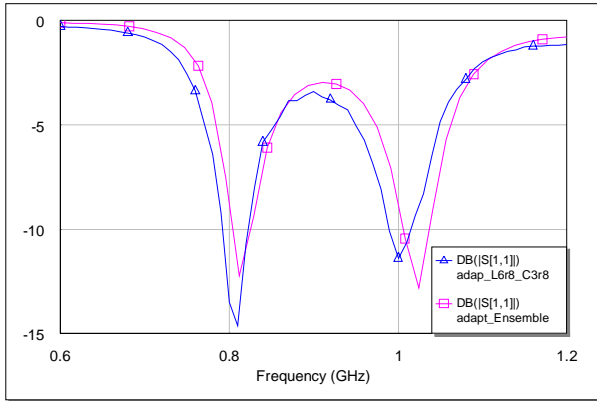


Fig. 6. Comparación de resultados entre los dos simuladores

Una vez comprobado que los resultados del simulador electromagnético coinciden con los obtenidos en MW Office se ha procedido a caracterizar experimentalmente la antena, añadiendo el circuito LHM a la entrada. Si observamos la Fig. 7, donde se presentan las medidas experimentales para los mismos valores de los componentes, vemos que tiene una gran concordancia con las simulaciones presentadas en la Fig. 5.

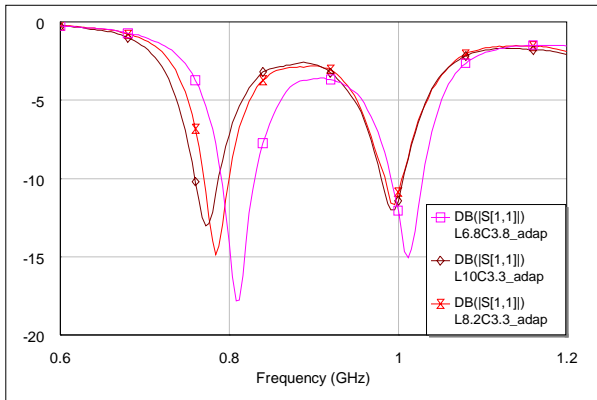


Fig. 7. Resultados experimentales de la antena parche adaptada por LC a la entrada.

### B. Radiador CRLH con variación de la resonancia del parche

En este caso el objetivo es desarrollar un sistema radiante CRLH mediante introduciendo un circuito LHM en el mismo plano del parche afectando a la resonancia del parche.

El circuito equivalente utilizado es el que se muestra en la Fig. 8. La capacidad en paralelo a la entrada tiene como misión la adaptación mientras que la autoinducción paralela y la capacidad serie añadidas al parche controlarán la frecuencia de resonancia. Como se explicó en la Fig. 2, la bobina serie y el circuito resonante paralelo representan la ranura de excitación y el parche con su resistencia de radiación, visto desde la propia ranura. El “stub” acabado en

circuito abierto es la terminación de la línea de transmisión de entrada que cruza la ranura.

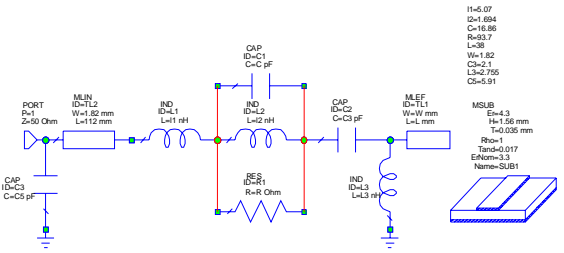


Fig. 8. Circuito equivalente CRLH con variación de la resonancia del parche.

El circuito equivalente del conjunto es una estructura CRLH el que aparecen dos bandas de funcionamiento como se puede observar en la Fig. 9. Se ha realizado la simulación utilizando la red de parámetros de scattering correspondientes a la caracterización experimental de la Fig. 3. Se puede comprobar que, para una capacidad constante de 2 pF y variando la bobina, se consigue mantener constante la banda superior y desplazar la inferior, mientras que si variamos la capacidad se desplazan las dos bandas manteniendo la separación entre ellas. Esto nos permite un cierto control electrónico de sintonía. En todo momento la capacidad de la entrada se ha mantenido constante pues únicamente influye en la adaptación.

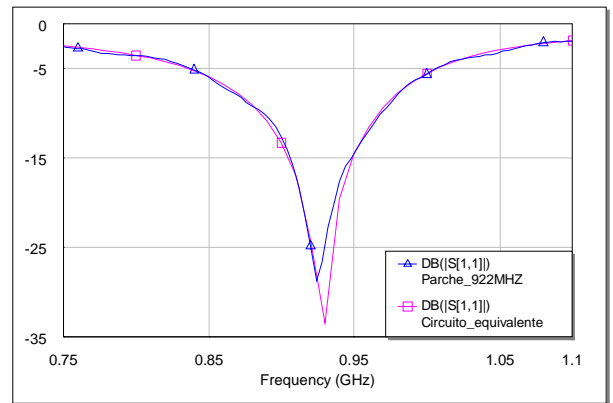
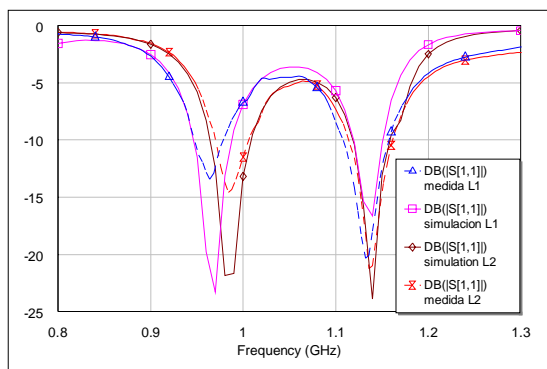


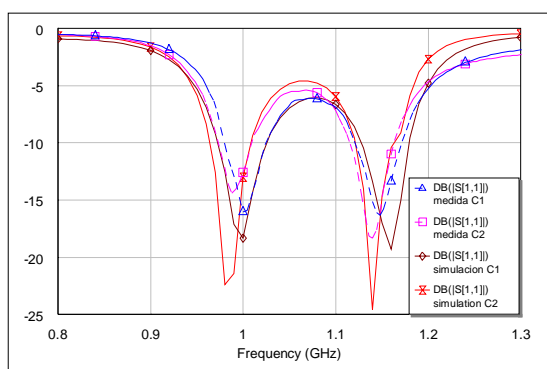
Fig. 9. Sintonía de las bandas de funcionamiento del parche variando su frecuencia de resonancia

Si tenemos en cuenta que el circuito LHM está situado en el mismo plano del parche resonante (Fig. 1) y que la autoinducción necesita una conexión a masa, ha sido necesario introducir un hilo metálico de 21 mm para efectuar dicha conexión en el plano inferior. Esto ha obligado a girar el parche por lo que es de suponer que el conjunto haya variado la frecuencia de resonancia original del elemento radiante. Por ello, se ha vuelto a medir la antena y a calcular los valores del circuito equivalente para rehacer las simulaciones. Los resultados experimentales y de simulación con el nuevo circuito equivalente se pueden observar en la Fig. 10. En este caso los valores de los componentes del parche son:

$$L_{\text{Slot}} = 11.1 \text{ nH}, L_{\text{res}} = 1.97 \text{ nH}, C_{\text{res}} = 16.7 \text{ pF}, R = 91.5, \\ L_{\text{Stub}} = 38$$



(a)



(b)

Fig. 10. Simulación y medida del circuito equivalente CRLH con variación de la resonancia del parche.

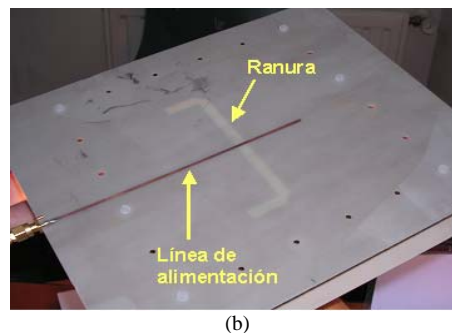
(a)  $C5=3.3\text{pF}$ ,  $C3=10\text{pF}$ ,  $L1=1.8\text{nH}$ ,  $L2=5.6\text{nH}$   
 (b)  $C5=3.3\text{pF}$ ,  $L3=2.2\text{nH}$ ,  $C1=4.7\text{pF}$ ,  $C2=6.8\text{pF}$

En la Fig. 10a se comparan los resultados experimentales y de simulación manteniendo fijas las capacidades y variando la autoinducción. En este caso se aprecia un control de la banda inferior permaneciendo la superior constante. Sin embargo en la Fig. 10b se ha mantenido constante la bobina y se ha variado la capacidad serie, en este caso se observa un desplazamiento de las dos bandas permaneciendo constante la separación entre ellas.

Las fotografías de la Fig. 11 nos muestran los detalles del sistema implementado. En la Fig. 11a se puede apreciar una vista superior de la antena con los detalles de los circuitos LHM en el plano superior y el circuito de entrada en el inferior. La Fig. 11b detalla la ranura de excitación y la línea de transmisión de entrada mediante una vista del plano inferior.



(a)



(b)

Fig. 11. detalles del sistema radiante

(a) vista superior

(b) vista inferior

## IV. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha presentado una antena parche excitada por ranura bajo el punto de vista del comportamiento de CRLH materiales. Se ha desarrollado su circuito equivalente bajo dos puntos de vista diferentes: añadir un circuito LHM a la entrada de la antena, el cual afecta a la adaptación de la misma, y en el plano superior que influye en su resonancia. Además se han comparado simulaciones circuitales y electromagnéticas así como medidas experimentales mostrando un gran acuerdo. Este novedoso sistema permite que la antena funcione en dos bandas diferentes las cuales pueden ser controladas mediante las componentes introducidas en el circuito. Esto tiene la gran ventaja de que se pueda implementar un control electrónico automático.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo esta parcialmente subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCyT) a través del TIC 2002-04084-C03-03 y a PCI-121/04/R/E. Además J.A. García agradece al programa Ramón y Cajal del MCyT.

## REFERENCIAS

- [1] C. Caloz, C.C. Chang and T. Itoh, "Full Wave Verification of the Fundamental Properties of Left-Handed Materials in Wave Guide Configurations", Journal of Applied Physics, Volume 90, No. 11, December 2001
- [2] A. Lai, T. Itoh and C. Caloz, "Composite Right/Left-Handed Transmission Line Metamaterials", IEEE Microwave Magazine, September 2004
- [3] C. Caloz and T. Itoh, "A Novel Mixed Conventional Microstrip and Composite Right/Left-Handed Backward-Wave Directional Coupler With BroadBand and Tight Coupling Characteristics", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol.14, No.1, Jan 2004
- [4] L. Liu, C. Caloz and T. Itoh, "Dominant Mode Leaky-Wave Antenna With Backfire-to-Endfire Scanning Capability", Electronics Letters, Vol. 38, No. 23, November 2002
- [5] S. Lim, C. Caloz and T. Itoh, "A Reflecto-Directive System Using a Composite Right/Left-Handed (CRLH) Leaky-Wave Antenna and Heterodyne Mixing", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 14, No. 4, April 2004
- [6] M. Kossel, H. Benedickter and W. Bachtold, "Circular Polarized Aperture Coupled Patch Antennas for RFID System in the 2.4GHz ISM Band", ETH Zurich-IFH
- [7] T. Brauner, R. Vogt and W. Bachtold, "A Differential Active Patch Antenna Element for Arrays Applications", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 13, No. 4, April 2003
- [8] I-Hsiang Lin, Marc DeVincentis, C. Caloz and T. Itoh, "Arbitrary Dual-Band Components Using Composite Right/Left-Handed Transmission Lines", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 52, No. 4, April 2004